

УДК 616.711-089.881:615.38PRF]-073.7-092.9:599.325.11(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872017245-51>

Рентгенологическая оценка экспериментального поясничного моноsegmentарного заднебокового спондилодеза с использованием аутологичного фибрина, обогащенного тромбоцитами

В. А. Радченко, А. В. Палкин, В. А. Колесниченко

ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М. И. Ситенко НАМН Украины», Харьков

The results of the use of autologous platelet-rich fibrin, for posterolateral lumbar spinal fusion are discussed. Objective: to evaluate the radiographic signs of experimental posterolateral lumbar spine fusion using fibrin-rich platelets. Methods: mono segmental posterolateral lumbar spinal fusion performed in 42 adult male California rabbits aged 4–5 months, which were divided into 6 groups of 7 animals each. In the control group 1 grafts were not used in group 2 used the local autograft, group 3 — local autograft combined with fibrin-rich platelets, 4 — allograft of ilium, 5 — allograft from ilium combined with fibrin-rich platelets, 6 — fibrin-rich platelets. Results: revealed radiographic characteristics of posterolateral osteoplastic fusion, namely the formation of continuous trabecular bone in the area of spinal fusion, preserved height of interbody gaps, homogeneous structure of newly formed bone, increasing the intensity of X-ray images in fusion masses. In radiometric studies identified more intensive bone density block of rabbits in groups 3 and 5, as well as forming a homogeneous bone accretion in group 6. Conclusions: groups of rabbits with osteoplastic spinal fusion detected radiographic signs of bone formed block in 77.1 % of cases in the control decortication group of transverse processes — in 57.1 %. Results of roentgenometric zone fusion evaluation suggest that autologous platelet rich fibrin, promotes strong bone accretion. Key words: experimental posterolateral lumbar spinal fusion; rabbits; local autograft; allograft; autologous platelet rich fibrin.

Результати використання аутологічного фібрину, збагаченого тромбоцитами (PRF), для поперекового задньобічного спондилодезу суперечливі. Мета: дослідити рентгенографічні ознаки експериментального поперекового задньобічного спондилодезу з використанням PRF. Методи: поперековий моноsegmentарний задньобічний спондилодез виконано 42 статевозрілим самцям каліфорнійських кролів у віці 4–5 міс., яких розподілили на 6 груп по 7 тварин у кожній. У контрольній групі 1 трансплантати не застосовували, у групі 2 використовували місцеві автотрансплантати, у групі 3 — місцеві автотрансплантати в поєднанні з PRF, 4 — алотрансплантати з крила клубової кістки, 5 — алотрансплантати з крила клубової кістки в поєднанні з PRF, 6 — PRF. Результати: виявлено рентгенографічні характеристики задньобічного кістково-пластичного спондилодезу, а саме: формування безперервних кісткових трабекул у зоні спондилодезу, збереження висоти міжтілових проміжків, гомогенну структуру новоутвореної кістки, збільшення інтенсивності рентгенівського зображення спондилодезних мас. У рентгенометричних дослідженнях визначено вищу щільність кісткового блока в групах кролів 3 і 5, а також формування гомогенного кісткового зрощення в групі 6. Висновки: у групах кролів із кістково-пластичним спондилодезом виявлено рентгенографічні ознаки сформованого кісткового блока в 77,1 % спостережень, у контрольній групі з декортикацією поперечних відростків — у 57,1 %. Результати рентгенометричного дослідження зони спондилодезу дозволяють стверджувати, що аутологічний фібрин, збагачений тромбоцитами, сприяє формуванню міцного кісткового зрощення. Ключові слова: експериментальний поперековий задньобічний спондилодез; кролі; місцеві автотрансплантати; алотрансплантати; аутологічний фібрин, збагачений тромбоцитами.

Ключевые слова: экспериментальный поясничный заднебоковой спондилодез; кроли; местные ауто-трансплантаты; аллотрансплантаты; аутологичный фибрин, обогащенный тромбоцитами

Введение

Костно-пластический спондилдез является одним из наиболее распространенных методов лечения остеохондроза. Однако результаты хирургического лечения таких больных недостаточно эффективны: отсутствие костного сращения в зоне спондилдеза отмечают в 20–35 % случаев [4]. К факторам, влияющим на итог костно-пластического спондилдеза, относят экстендоры — аутологичные вещества, обладающие остеокондуктивными и/или остеоиндуктивными свойствами и потенцирующие образование прочного костного блока. Одним из таких экстендоров является аутологичный фибрин, обогащенный тромбоцитами (*англ.* Platelet-rich fibrin, PRF). Использование PRF в качестве пластического материала для поясничного заднебокового спондилдеза противоречиво: одни авторы приводят данные о 100 % положительных результатов лечения [3], другие считают применение PRF одной из причин неудач операций [10].

В экспериментальных исследованиях выявлены определенные преимущества аутологичного PRF перед другими видами костно-пластических материалов [16], благодаря чему фибрин, обогащенный тромбоцитами, называют «оптимизированным тромбом» [21]. Одним из главных факторов, увеличивающих регенераторный потенциал физиологического PRF, является управляемое и пролонгированное высвобождение тромбоцитарных и лейкоцитарных цитокинов [17], а также факторов роста [19] из фибринового матрикса. Это обеспечивает непрерывную стимуляцию процесса остеогенеза на ранних стадиях. Следует отметить, что значительная часть ключевых факторов роста (трансформирующего с $\beta 1$ и $\beta 2$ его изомерами, тромбоцитарного, эпидермального, фактора роста эндотелия сосудов, фактора роста) продуцируется в интрацеллюлярном пуле факторов роста [12], расположенном в пределах фибринового матрикса [19]. В то же время при использовании искусственного фибринового геля, обогащенного цитокинами, отмечено неконтролируемое и достаточно быстрое высвобождение биологически активных веществ и факторов роста [13], что улучшает репаративную регенерацию сухожилий, связок, капсул суставов, но не оказывает существенного влияния на остеогенез [15, 21].

Показано, что наличие сети фибриновых волокон в сгустке PRF облегчает клеточную миграцию и васкуляризацию на ранних стадиях процесса репарации кости, что существенно уве-

личивает адгезию остеобластов с формированием большей площади вновь образованной костной ткани в дефекте большеберцовой кости [14], верхней челюсти [13] и в зоне спондилдеза [4] по сравнению с контролем. Лейкоциты и цитокины, содержащиеся в фибриновом матриксе, играют важную роль в купировании асептического и инфекционного воспаления в костной послеоперационной ране [20].

В последнее время возрос интерес к использованию PRF в качестве экстендора при выполнении костной пластики. Это связано с выявленными неблагоприятными результатами спондилдеза с применением костного морфогенетического белка, который был одним из самых распространенных заменителей костных аутооттрансплантатов в хирургии позвоночника [4].

Цель работы: изучить качественные и количественные рентгенографические признаки поясничного моносегментарного заднебокового спондилдеза с использованием аутологичного фибрина, обогащенного тромбоцитами, в эксперименте на кролях.

Материал и методы

Экспериментальное моделирование поясничного моносегментарного заднебокового спондилдеза с использованием ауто-, аллотрансплантатов и аутологичного фибрина, обогащенного тромбоцитами, у кролей одобрено комитетом по биоэтике ГУ «ИПХС им. проф. М. И. Ситенко НАМН» (протокол № 151 от 18.01.2016) в соответствии с требованиями «Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых в экспериментальных и других научных целях» [1].

Экспериментальное моделирование поясничного заднебокового спондилдеза выполнено 42 половозрелым самцам белых калифорнийских кролей в возрасте 4–5 мес., которых в зависимости от используемого пластического материала разделили случайной выборкой на 6 групп по 7 животных в каждой. У кролей группы 1 (контрольной) трансплантаты не применяли, в группе 2 использовали местные аутооттрансплантаты, 3 — местные аутооттрансплантаты в сочетании с PRF, 4 — аллотрансплантаты из крыла подвздошной кости, 5 — аллотрансплантаты из крыла подвздошной кости в сочетании с PRF, 6 — PRF.

PRF получали непосредственно перед операцией путем забора крови 7,0 мл из ушной вены кроля, помещали ее в пробирку без коагулянта и немедленно центрифугировали со скоростью

3 000 оборотов в минуту (приблизительно 400 г) в течение 10 мин. Полученные 3,0 мл PRF делили на 2 порции по 1,5 мл для выполнения двустороннего заднебокового спондилодеза.

Местные костные аутотрансплантаты представляли собой фрагменты резецированных интраоперационно остистых отростков L_{IV} и L_V позвонков (на уровне спондилодеза).

Лиофилизированные аллотрансплантаты, полученные из гребня подвздошной кости кролей, выведенных из эксперимента, подготовлены на базе отделения трансплантологии ГУ «ИППС им. проф. М. И. Ситенко НАМН», зарегистрированного МОЗ Украины. Подготовленные для спондилодеза ауто- и аллотрансплантаты представляли собой кортикально-спонгиозные костные фрагменты размерами 0,1–0,2 на 0,1–0,5 см. Каждому кролю имплантировали приблизительно по 2 грамма ауто/аллокости. Размер костных трансплантатов обусловлен тем, что более мелкие костные фрагменты образуют более гомогенные спондилодезные массы, быстрее достигая биомеханической зрелости [6].

Всем кролям под общим обезболиванием (кетамин — 50 мг/кг живого веса) в условиях асептики и антисептики выполнена двусторонняя декортикация поперечных отростков L_{IV} и L_V позвонков. С целью исключения миграции трансплантируемого материала его укладывали на декортицированные поперечные отростки медиально, возле заднебоковых поверхностей тел прилежащих позвонков, после чего производили послойное ушивание послеоперационной раны с выполнением гемостаза по ходу операции. Животных выводили из эксперимента через 8 недель после операции путем передозировки тиопената натрия с соблюдением всех правил гуманного отношения к ним.

Всем кролям выполнена обзорная рентгенография поясничного отдела позвоночника в двух проекциях до и через 8 недель после операции. Для измерения рентгенологической плотности губчатой кости тел L_{IV} и L_V позвонков (на уровне спондилодеза), а также спондилодезных масс использовали программный комплекс «X-rays», разработанный в Харьковском национальном университете радиоэлектроники. Комплекс содержит тест-объект с градуированной шкалой 254 оттенков серого цвета. Минимальной оптической плотности в 1 у. е. соответствует белый цвет, максимальная оптическая плотность в 256 у. е. — у черного цвета (рис. 1). Использование тест-объекта позволяет стандартизировать

оптическую плотность позвоночных структур независимо от технических особенностей рентгенографии [2]. Для оценки результатов исследования определяли медиану с величиной стандартного отклонения, t-критерий по методу Стьюдента с уровнем значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Выполненное хирургическое вмешательство технически представляло собой двусторонний моносегментарный заднебоковой межпозвоночно-межтеловой спондилодез с расположением трансплантатов между поперечными отростками L_{IV} и L_V позвонков в непосредственной близости к заднебоковой поверхности их тел. Такая позиция ауто- и аллотрансплантатов, а также фибринового сгустка, склонного к миграции [15], позволила избежать существенного смещения пластического материала в послеоперационном периоде и достичь костного сращения, рентгенологические признаки которого определены в 77,1 % наблюдений, т. е. у 27 из 35 экспериментальных животных, которым выполнен спондилодез.

В результате качественного анализа поясничных обзорных спондилограмм кролей через 8 недель после операции в группе 1 (хирургическое вмешательство заключалось только в декортикации поперечных отростков L_{IV} и L_V позвонков) выявлены признаки спондилодеза у 4 (57,1 %) животных, причем одностороннее и двустороннее костное сращение наблюдали с одинаковой частотой (табл. 1).

В группах кролей с различными вариантами костно-пластического спондилодеза частота формирования двустороннего костного сращения была более высокой, а отсутствие рентгенологических признаков сформированного костного блока,



Рис. 1. Поясничные спондилограммы кроля в переднезадней и боковой проекциях с тест-объектом (п) для стандартизации оптической плотности позвоночных структур

Таблица 1

Результаты экспериментального моделирования поясничного заднебокового моносегментарного спондилодеза на кролях

Группа животных	Результат операции (сращение)					
	двустороннее		одностороннее		отсутствие	
	n	%	n	%	n	%
1 — контроль	2	28,6	2	28,6	3	42,8
2 — аутотрансплантаты	3	42,8	2	28,6	2	28,6
3 — аутотрансплантаты + PRF	4	57,1	2	28,6	1	14,3
4 — аллотрансплантаты	3	42,8	2	28,6	2	28,6
5 — аллотрансплантаты + PRF	4	57,1	2	28,6	1	14,3
6 — PRF	3	42,8	2	28,6	2	28,6

соответственно, отмечали реже по сравнению с контрольной группой. Количество образования одностороннего спондилодеза во всех группах прооперированных животных оказалась примерно одинаковой.

Рентгенологически формирование костного блока в группах экспериментальных животных с костно-пластическим спондилодезом происходило преимущественно в задних и боковых отделах прооперированного позвоночного сегмента. В группах 3 и 5 зона спондилодеза была более массивной, охватывая и остистые отростки L_{IV} – L_V сегмента, формируя, по сути, гемидициркумферентный спондилодез (рис. 2, а–г). В одном случае (группа 6) отмечено костное сращение в межтеловом промежутке L_{IV} – L_V (рис. 2, д, ж). На всех рентгенограммах поясничного отдела позвоночника кролей с состоявшимся спондилодезом не обнаружено утраты высоты межтеловых промежутков.

В новообразованной костной ткани определяли непрерывные костные трабекулы, соединяющие трансплантаты с поперечными отростками и телами позвонков, что свидетельствует о зрелости спондилодеза [11].

У кролей с костно-пластическим спондилодезом наиболее гомогенной выглядела новообразованная костная ткань в группе 6 с изолированным применением PRF (рис. 2, и, к). Полученные результаты вполне логичны, т. к. в этой группе при выполнении хирургического вмешательства не применяли костные трансплантаты, корковый слой которых, обладая более интенсивным рентгенологическим изображением, как правило, еще визуализировали через 6–10 недель после поясничного спондилодеза у кролей [8]. Интересно отметить, что рентгенологическая плотность спондилодезных масс в этой группе сравнима с плотностью губчатой кости тел L_{IV} и L_V позвонков (на уровне спондилодеза): $(1,12 \pm 0,29)$,

$(0,91 \pm 0,28)$ и $(1,07 \pm 0,36)$ у. е. соответственно (табл. 2).

В других группах количественный анализ рентгенологической плотности губчатой кости тел спондилодезированных позвонков через 8 недель после операции позволил установить, что до операции у всех кролей плотность губчатой кости тел L_{IV} и L_V позвонков была достаточно однородной и в среднем составила $(1,72 \pm 0,38)$ и $(1,58 \pm 0,29)$ у. е. соответственно. Через 8 недель после операции во всех группах отмечено снижение плотности губчатой кости тел позвонков на уровне спондилодеза по сравнению с дооперационными величинами. При этом у животных с состоявшимся спондилодезом уменьшение плотности губчатой кости тел позвонков было статистически недостоверным, тогда как при отсутствии рентгенологических признаков костного сращения выявлено статистически значимое уменьшение данных показателей по сравнению с дооперационными величинами ($p < 0,05$). Различия в плотности костной ткани исследованных позвонков статистически значимо не зависели от вида костно-пластического материала. В группах с успешным спондилодезом наиболее высокие показатели плотности губчатой кости тел L_{IV} , L_V позвонков выявлены в случаях использования сочетания костных трансплантатов и PRF — $(1,39 \pm 0,38)$ и $(1,49 \pm 0,30)$ у. е. для группы 5, $(1,21 \pm 0,22)$ и $(1,30 \pm 0,28)$ у. е. для группы 3. Меньшие значения показателей отмечены в группах с костной пластикой — $(1,21 \pm 0,22)$ и $(1,30 \pm 0,28)$ у. е. для группы 2, $(1,09 \pm 0,23)$ и $(1,12 \pm 0,21)$ для группы 4. И, наконец, самые низкие значения плотности губчатой кости тел L_{IV} и L_V позвонков при состоявшемся спондилодезе зарегистрированы в группе 6 с применением PRF $(0,91 \pm 0,28)$ и $(1,07 \pm 0,26)$ у. е., и в контрольной группе 1 — $(0,93 \pm 0,21)$ и $(0,97 \pm 0,23)$ у. е. соответственно.

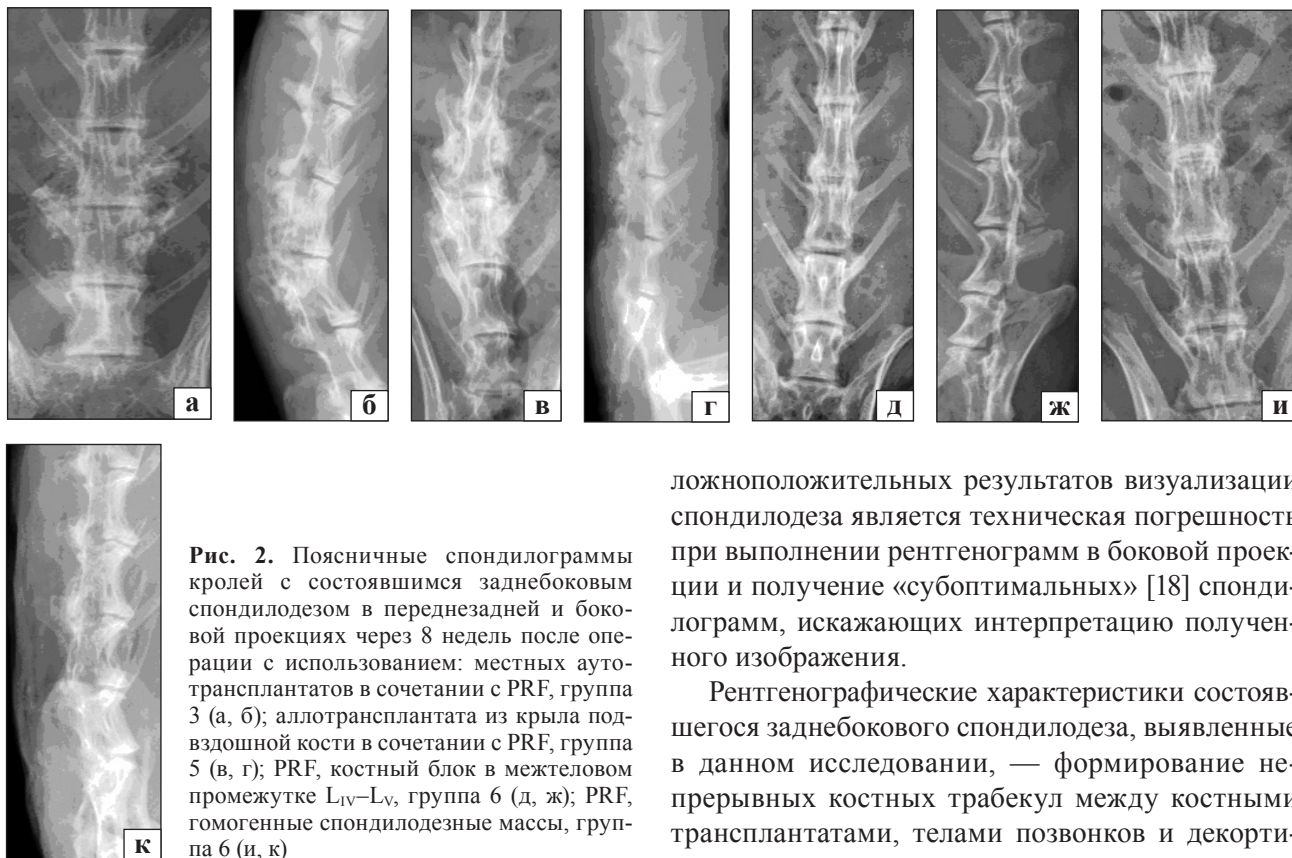


Рис. 2. Поясничные спондилограммы кролей с состоявшимся заднебоковым спондилодезом в переднезадней и боковой проекциях через 8 недель после операции с использованием: местных ауто-трансплантатов в сочетании с PRF, группа 3 (а, б); аллотрансплантата из крыла подвздошной кости в сочетании с PRF, группа 5 (в, г); PRF, костный блок в межтеловом промежутке L_{IV} – L_V , группа 6 (д, ж); PRF, гомогенные спондилодезные массы, группа 6 (и, к)

Рентгенологическая плотность спондилодезных масс у животных групп 2–5 была большей по сравнению с плотностью тел L_{IV} , L_V позвонков. Увеличение интенсивности рентгенологического изображения новообразованной кости связывают с кальцификацией остеоида, что, в свою очередь, свидетельствует о зрелости спондилодеза [11, 22].

Стандартная лучевая диагностика формирования спондилодеза в настоящее время включает выполнение рентгенограмм — обзорных в переднезадней проекции и функциональных в боковой, а также компьютерную томографию с 3D реконструкцией в динамике (через 3, 6, 12 мес. после операции). Функциональная рентгенография в боковой проекции позволяет обнаружить подвижность между костными элементами в зоне спондилодеза и рассматривается как неспецифическое, но высоко чувствительное исследование (чувствительность метода 96 %) с невысоким процентом ложноотрицательных результатов [3]. Специфичность компьютерной томографии составляет 86 % [6]. Ложноотрицательные результаты рентгенографической оценки новообразованной костной ткани обычно связаны с тем, что функционально сросшиеся преминерализованные остеоиды в зоне спондилодеза являются рентгенонегативными [7, 9]. Одной из причин

ложноположительных результатов визуализации спондилодеза является техническая погрешность при выполнении рентгенограмм в боковой проекции и получение «субоптимальных» [18] спондилограмм, искажающих интерпретацию полученного изображения.

Рентгенографические характеристики состоявшегося заднебокового спондилодеза, выявленные в данном исследовании, — формирование непрерывных костных трабекул между костными трансплантатами, телами позвонков и декортицированными поперечными отростками, а также в межтеловом промежутке, сохранение высоты межтеловых промежутков, гомогенная структура новообразованной кости, увеличение интенсивности рентгеновского изображения спондилодезных масс — являются облигатными признаками сформированного костного блока [5, 10].

Полученные рентгенометрические показатели зоны спондилодеза — более высокая плотность спондилодезных масс и тел L_{IV} , L_V позвонков в группах экспериментальных животных с использованием сочетания костных трансплантатов с PRF, а также формирование гомогенного костного блока с однородной костной плотностью в группе с изолированным использованием PRF — свидетельствуют, что аутологичный фибрин, обогащенный тромбоцитами, способствует формированию прочного костного сращения.

Выводы

В результате качественной оценки поясничных спондилограмм в стандартных проекциях выявлены рентгенографические признаки сформированного костного блока в 77,1 % наблюдений в группах экспериментальных кролей с различными вариантами костно-пластического спондилодеза и в 57,1 % — в контрольной с декортикацией поперечных отростков.

Таблица 2

Статистические показатели рентгенометрической плотности губчатой кости тел трех нижнепоясничных позвонков кролей до и после заднебокового моноsegmentарного спондилодеза

Группа животных	Результат спондилодеза	Зона измерения	Плотность тел позвонков (M ± m), у. е.
До операции			
Группа животных в целом (n = 42)	n = 42	L _{IV} L _V	1,72 ± 0,38 1,58 ± 0,29
После операции			
1 — контроль	сращение n = 4	L _{IV} L _V	0,93 ± 0,21 0,97 ± 0,31
		спондилодезные массы	1,15 ± 0,34
	несращение n = 3	L _{IV} L _V	0,89 ± 0,19 * 0,97 ± 0,23
		спондилодезные массы	1,82 ± 0,41
2 — аутотрансплантаты	сращение n = 5	L _{IV} L _V	1,09 ± 0,19 1,01 ± 0,21
		спондилодезные массы	1,82 ± 0,41
	несращение n = 2	L _{IV} L _V	0,82 ± 0,15 * 0,83 ± 0,17 *
		спондилодезные массы	1,82 ± 0,41
3 — аутотрансплантаты + PRF	сращение n = 6	L _{IV} L _V	1,21 ± 0,22 1,30 ± 0,28
		спондилодезные массы	2,15 ± 0,49
	несращение n = 1	L _{IV} L _V	0,92 ± 0,19 0,85 ± 0,17 *
		спондилодезные массы	2,15 ± 0,49
4 — аллотрансплантаты	сращение n = 5	L _{IV} L _V	1,09 ± 0,23 1,12 ± 0,21
		спондилодезные массы	2,17 ± 0,51
	несращение n = 2	L _{IV} L _V	0,77 ± 0,21 * 0,84 ± 0,18 *
		спондилодезные массы	2,17 ± 0,51
5 — аллотрансплантаты + PRF	сращение n = 6	L _{IV} L _V	1,39 ± 0,38 1,49 ± 0,30
		спондилодезные массы	2,25 ± 0,61
	несращение n = 1	L _{IV} L _V	0,76 ± 0,25 * 0,82 ± 0,28 *
		спондилодезные массы	2,25 ± 0,61
6 — PRF	сращение n = 5	L _{IV} L _V	0,91 ± 0,28 1,07 ± 0,26
		спондилодезные массы	1,12 ± 0,29
	несращение n = 2	L _{IV} L _V	0,72 ± 0,19 * 0,74 ± 0,23 *
		спондилодезные массы	1,12 ± 0,29

* p < 0,05.

Результаты рентгенометрической оценки зоны спондилодеза позволяют утверждать, что использование аутологичного фибрина, обогащенного тромбоцитами, в качестве костно-пластического материала способствует формированию прочного костного сращения.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Список литературы

1. Європейська конвенція про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей. Страсбург, 18 березня 1986 року : офіційний переклад [Електронний ресурс] / Верховна Рада України. Офіційний веб-сайт. — Режим доступу : [http:// zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?reg=994_137](http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?reg=994_137).
2. Тимошенко О. П. Исследование диагностических возможностей программного комплекса «X-rays» / О. П. Тимошенко, А. Г. Верещун // Медицина и ... — 2001. — № 1. — С. 62–64.
3. A retrospective analysis of platelet rich fibrin matrix use in posterolateral spine arthrodesis [web source] / A. T. Brecevic, P. Kiely, C. Abjornson, F. P. Cammisa. — Available from : https://www.isass.org/abstracts/isass14_oral_posters/isass14-557-A-Retrospective-Analysis-of-Platelet-Rich-Fibrin-Matrix-Use-in-Postero.html.
4. A systematic review of comparative studies on bone graft alternatives for common spine fusion procedure / C. R. Fischer, R. Cassilly, W. Cantor [et al.] // Eur. Spine J. — 2013. — Vol. 22. — P. 1423–1435. — DOI: 10.1007/s00586-013-2718-4.
5. Berquist T. H. Imaging of the postoperative spine / T. H. Berquist // Radiol. Clin. North. Am. — 2006. — Vol. 44 (3). — P. 407–418. — DOI: 10.1016/j.rcl.2006.01.002.
6. Blumenthal S. L. Can lumbar spine radiographs determine fusion in postoperative patients? Correlation of routine radiographs with a second surgical look at lumbar fusions / S. L. Blumenthal

- thal, K. Gill // *Spine*. — 1993. — Vol. 18 (9). — P. 1186–1189.
7. Boden S. D. Volvo Award in basic sciences. The use of an osteoinductive growth factor for lumbar spinal fusion. Part II: Study of dose, carrier, and species / S. D. Boden, J. H. Schimandle, W. C. Hutton // *Spine*. — 1995. — Vol. 20 (24). — P. 2633–2644.
 8. Boden S. D. Volvo Award in basic sciences. The use of an osteoconductive growth factor for lumbar spinal fusion. Part I: Biology of spinal fusion / S. D. Boden, J. H. Schimandle, W. C. Hutton // *Spine*. — 1995. — Vol. 20 (24). — P. 2626–2632.
 9. Brodsky A. E. Correlation of radiographic assessment of lumbar spine fusions with surgical exploration / A. E. Brodsky, E. S. Kovalsky, M. A. Khalil // *Spine*. — 1991. — Vol. 16 (6, Suppl.). — P. S261–S265.
 10. Hayeri M. R. Diagnostic imaging of spinal fusion and complications / M. R. Hayeri, J. Tehranzadeh // *Appl. Radiol.* — 2009. — Vol. 38. — P. 14–28.
 11. Imaging of spinal implants and radiologic assessment of fusion / P. M. Parizel, J. W. van Goethem, L. van den Hauwe [et al.] // *Instrumented fusion of the degenerative lumbar spine: state of the art, questions, and controversis* // Eds. M. Szpalski, R. Gunzburg, D. M. Spengler, A. Nachemson. — Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, 1996. — P. 26–33.
 12. In vitro release of growth factors from platelet-rich fibrin (PRF): proposal to optimize the clinical applications of PRF / C. Y. Su, Y. P. Kuo, Y. H. Tseng [et al.] // *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* — 2009. — Vol. 108. — P. 56–61. — DOI: 10.1016/j.tripleo.2009.02.004
 13. Introducing Choukroun's platelet rich fibrin (PRF) to the reconstructive surgery milieu / M. Toffler, N. Toscano, D. Holtzclaw [et al.] // *J. Implant & Advanced Clinical. Dentistry (JIACD)*. — 2009. — Vol. 1. — P. 21–31.
 14. Kokdere N. N. The use of platelet-rich fibrin (PRF) and PRF-mixed particulated autogenous bone graft in the treatment of bone defects: on experimental and histomorphometrical study / N. N. Kokdere, T. Baykul, Y. Findik // *Dent. Res. J.* — 2015. — Vol. 12 (5). — P. 418–424. — DOI: 10.4103/1735-3327.166188.
 15. Leukocyte- and platelet-rich fibrin (L-PRF) for long-term delivery of growth factor in rotator cuff repair: review, preliminary results and future directions / M. A. Zumstein, S. Berger, M. Schober [et al.] // *Curr. Pharm. Biotechnol.* — 2012. — Vol. 13 (7). — P. 1196–1206. — DOI: 10.2174/138920112800624337.
 16. Platelet gel (AGF) fails to increase fusion rates in instrumented posterolateral fusions / L. Y. Carreon, S. D. Glassman, Y. Anekstein, R. M. Puno // *Spine*. — 2015. — Vol. 30 (9). — P. E243–E246.
 17. Platelet-rich fibrin (PRF): a second-generation platelet concentrate. Part II: platelet-related biologic features / D. M. Dohan, J. Choukroun, A. Diss [et al.] // *Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* — 2006. — Vol. 101 (3). — P. 45–50. — DOI: 10.1016/j.tripleo.2005.07.009.
 18. Segmental lumbar lordosis: manual versus computer-assisted measurement using seven different techniques / T. C. Schuler, B. R. Subach, C. L. Branch [et al.] // *J. Spinal Disord. Tech.* — 2004. — Vol. 17 (5). — P. 372–379.
 19. Slow release of growth factors and thrombospondin-1 in Choukroun's platelet-rich fibrin (PRF): a gold standard to achieve for all surgical platelet concentrates technologies / D. M. Dohan Ehrenfes, G. M. de Peppo, P. Doglioli, G. Sammartino // *Growth Factors*. — 2009. — Vol. 27 (1). — P. 63–69. — DOI: 10.1080/08977190802636713.
 20. The relevance of Choukroun's platelet-rich fibrin and metronidazole during complex maxillary rehabilitations using bone allograft. Part II: Implant surgery, prosthodontics, and survival / A. Simonpieri, M. Del Corso, G. Sammartino, D. M. Dohan Ehrenfes // *Implant Dent.* — 2009. — Vol. 18 (3). — P. 220–229. — DOI: 10.1097/ID.0b013e31819b5e3f.
 21. Three-dimensional architecture and cell composition of a Choukroun's platelet-rich fibrin clot and membrane / D. M. Dohan Ehrenfes, M. Del Corso, A. Diss A. [et al.] // *J. Periodontol.* — 2010. — Vol. 81 (4). — P. 546–555. — DOI: 10.1902/jop.2009.090531.
 22. Williams A. L. CT evaluation of lumbar interbody fusion: Current concepts / A. L. Williams, M. F. Gornet, J. K. Burkus // *Am. J. Neuroradiol.* — 2015. — Vol. 26 (8). — P. 2057–2066.

Статья поступила в редакцию 04.05.2017

RADIOLOGICAL ASSESSMENT OF EXPERIMENTAL MONO-SEGMENTAL POSTERIOR-LATERAL LUMBAR FUSION USING AUTOLOGOUS PLATELET RICH FIBRIN

V. A. Radchenko, A. V. Palkin, V. A. Kolesnichenko

Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology, Kharkiv. Ukraine

✉ Volodymyr Radchenko, MD, Prof. in Orthopaedics and Traumatology: volod56@ukr.net

✉ Alexandr Palkin: palkin110383@gmail.com

✉ Vera Kolesnichenko, MD: veakol@rambler.ru